

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION  
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété  
Intellectuelle  
Bureau international



(43) Date de la publication internationale  
28 octobre 2004 (28.10.2004)

PCT

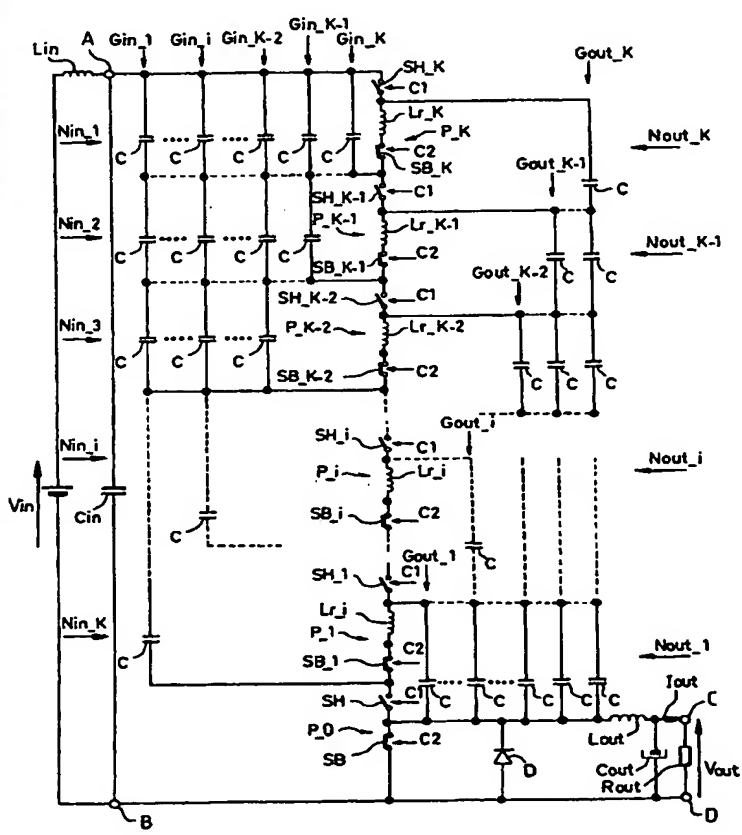
(10) Numéro de publication internationale  
**WO 2004/093305 A1**

- |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>(51) Classification internationale des brevets<sup>7</sup> :<br/><b>H02M 3/158, 3/07</b></p> <p>(21) Numéro de la demande internationale :<br/>PCT/FR2004/000091</p> <p>(22) Date de dépôt international :<br/>16 janvier 2004 (16.01.2004)</p> <p>(25) Langue de dépôt :<br/>français</p> <p>(26) Langue de publication :<br/>français</p> <p>(30) Données relatives à la priorité :<br/>03/03305      18 mars 2003 (18.03.2003)      FR</p> | <p>(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : <b>THALES</b> [FR/FR]; 45, rue de Villiers, F-92526 Neuilly-sur-Seine (FR).</p> <p>(72) Inventeur; et<br/>(75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : <b>TAURAND, Christophe</b> [FR/FR]; Thales Intellectual Property, 31-33, avenue Aristide Briand, F-94117 Arcueil Cedex (FR).</p> <p>(74) Mandataires : <b>DOMINGUEZ, Mariano</b> etc.; THALES Intellectual Property, 31-33, avenue Aristide Briand, F-94117 Arcueil Cedex (FR).</p> <p>(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB,</p> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: SERIAL CONNECTED LOW-LOSS SYNCHRONOUSLY SWITCHABLE VOLTAGE CHOPPER

(54) Titre : HACHEUR SERIE A COMMUTATION SYNCHRONE ET FAIBLES PERTES



(57) Abstract: The invention relates to a serial voltage chopper comprising a pair of input terminal connectors (A, B) connected to an input direct voltage, a pair (P\_O) of serial connected switches (SB, SH) which are connected to the input terminal connector (B) by the switch (SB), each switch being provided with a control input in order to simultaneously bring: the first switch into a conducting state by receiving a control signal on the input thereof, and the other into a non-connecting state by receiving a second signal complementary to the first signal on the control input thereof and a pair of output terminal connectors for supplying a charge. Said voltage chopper also comprises (K) additional pairs of series switches between the input terminal connector (A) and the switch (SH) of the pair (P\_O), two switches of the same pair are in series connected through an energy recovery (Lr\_i) coil, (K) input groups of Ni capacities of the same value each in series and (K) output groups (Gout-I of Mi) capacities of the same value in series each. The switches of said additional pairs are simultaneously controlled by additional control signals.

(57) Abrégé : L'invention concerne un hacheur série comportant : - une paire de bornes d'entrée A et B connectées avec une tension continue d'entrée ; - une paire P-O d'interrupteurs SB, SH en série connectée par l'interrupteur SB à la borne d'entrée B, chacun comportant

[Suite sur la page suivante]

WO 2004/093305 A1



GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR,

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

une entrée de commande pour être mis simultanément, l'un dans un état passant par l'application à son entrée de commande d'un premier signal de commande, l'autre dans un état isolé par l'application à son entrée de commande d'un second signal de commande complémentaire du premier ; - une paire de bornes de sortie pour alimenter une charge. - K paires supplémentaires d'interrupteurs en série entre la borne d'entrée A et l'interrupteur SH de la paire P<sub>0</sub>, les deux interrupteurs d'une même paire connectés en série à travers une self de récupération d'énergie L<sub>r\_i</sub> ; - K groupes d'entrée de Ni capacités de même valeur en série chacun ; - K groupes de sortie, Gout<sub>i</sub>, de Mi capacités de même valeur en série chacun. Les interrupteurs de ces paires supplémentaires sont commandés simultanément par les signaux de commande complémentaires .

## **HACHEUR SERIE A COMMUTATION SYNCHRONES ET FAIBLES PERTES**

5 L'invention concerne un hacheur série ou « buck converter » en langue anglaise, permettant d'obtenir, à partir d'une tension continue d'alimentation, une autre tension continue de plus faible valeur.

Les nouveaux composants électroniques sont alimentés avec des tensions de plus en plus faibles (2.5V, 1.8V actuellement et probablement  
10 1.2V et 0.8V bientôt), les besoins en puissance vers les très basses tensions augmentent et deviennent majoritaires par rapport aux tensions classiques +/-15V et +5V.

Les courants consommés deviennent de plus en plus importants car la puissance consommée par les utilisateurs est toujours la même ou augmente  
15 (fonctionnalités plus nombreuses).

Les tensions inférieures à 3.3V ne sont pas distribuées et sont implantées directement sur les cartes utilisatrices. L'alimentation se déporte au plus proche des utilisateurs.

Cette tendance oblige les fournisseurs d'alimentations à réaliser des  
20 convertisseurs générant des rapports entre tension d'entrée et tension de sortie de plus en plus importants.

Les structures utilisées sont généralement des convertisseurs à découpage non isolés pour conserver des rendements élevés et des convertisseurs de faibles dimensions. Ces convertisseurs peuvent  
25 difficilement faire, avec une structure de type abaisseur, un rapport de transformation supérieur à 10 avec des rendements supérieurs à 90%.

Pour permettre au marché de remplir ses exigences d'intégration, il faut pouvoir fournir ces nouveaux convertisseurs dans des surfaces toujours plus petites et donc avec des rendements de plus en plus importants pour ne  
30 pas augmenter la taille des dissipateurs.

Parmi les structures des convertisseurs on trouve les hacheurs série ou « buck converter ».

La figure 1a montre un schéma de principe d'un « buck converter ».

Le circuit de la figure 1a, est alimenté par une tension continue  
35 d'entrée  $V_{in}$  et fournit une tension de sortie  $V_{out}$  sur une charge  $R_{out}$  en

parallèle avec une capacité  $C_{out}$ . Un commutateur 10 permet d'appliquer à une borne d'une self de sortie  $L_{out}$  connectée par son autre borne à une des bornes de la résistance de charge  $R_{out}$ , soit le potentiel positif de la tension d'entrée  $V_{in}$  soit le potentiel négatif pendant des temps respectifs  $T_{on}$  et  $T_{off}$ . La figure 1b montre les temps de fermeture  $T_{on}$  et d'ouverture  $T_{off}$  de l'interrupteur 10. L'autre borne de la résistance de charge  $R_{out}$  est connectée au potentiel négatif de la tension d'entrée  $V_{in}$ . On supposera par la suite que le potentiel négatif de  $V_{in}$  est 0 volt.

Les diagrammes des figures 1c, 1d et 1e montrent le principe de fonctionnement du « buck converter ».

On suppose que le commutateur 10 est commuté avec une fréquence de période  $T$ , avec  $T = T_{on} + T_{off}$  (voir figure 1C). La période  $T$  peut être de valeur constante ou variable.

La tension  $V_I$  aux bornes de la self  $L_{out}$  est :

$V_I = V_{in} - V_{out}$ , pendant le temps  $T_{on}$  et

$V_I = -V_{out}$ , pendant le temps  $T_{off}$

La tension moyenne  $V_m$  de la tension de sortie  $V_{out}$  aux bornes de la résistance  $R_{out}$  sera donc comprise entre  $V_{in}$  et 0 volt en fonction du rapport cyclique  $T_{off}/T$  et sera donnée par  $V_m = (T_{on}/T) \cdot V_{in}$ .

La tension  $V_{out}$  est constante au niveau de sa valeur moyenne  $V_m$ . Le courant  $I_{L_{out}}$  dans la self  $L_{out}$  se présentant sous forme de rampes pendant les temps  $T_{on}$  et  $T_{off}$ . Une diode  $D$  assure la continuité du courant dans la self lors des commutations.

Dans le diagramme de la figure 1c on a représenté  $T_{on} = T/2$  et par conséquent  $V_{out} = V_{in}/2$ .

Les diagrammes des figures 1d et 1e montrent respectivement deux valeurs de tension moyenne  $V_{m1}$  et  $V_{m2}$  aux bornes de la résistance de charge  $R_{out}$  pour deux valeurs du temps  $T_{on}$  :

- dans le diagramme de la figure 1d :  $T_{on}/T = 0,9$  et,

- dans le diagramme de la figure 1e :  $T_{on}/T = 0,1$ .

En d'autres termes, lorsque  $T_{on}/T$  est faible, l'énergie fournie par la source d'alimentation, pendant le court instant  $T_{on}$ , est faible, produisant une faible tension moyenne aux bornes de la charge, à contrario, lorsque  $T_{on}$  est proche de la période  $T$  la charge est quasi-constamment connectée à la

source d'alimentation, la tension moyenne de sortie est proche de la tension continue d'entrée.

Dans un autre type de fonctionnement du « buck converter », on maintient le temps  $T_{on}$  constant et on change la fréquence de commutation c'est-à-dire la période  $T$  de commutation pour rendre le rapport  $T_{on}/T$  variable.

En pratique, les interrupteurs sont réalisés par deux semi-conducteurs en série, par exemple deux interrupteurs MOS, commandés par des signaux complémentaires à la fréquence  $1/T$ .

Les hacheurs série de l'état de l'art présentent néanmoins des limitations. En effet, un rapport cyclique  $T_{on}/T$  de 0,1 est un minimum pouvant être aujourd'hui obtenu avec des performances acceptables de rendement et de fiabilité. Mais lorsque l'on veut obtenir une tension de sortie inférieure au dixième de la tension d'entrée, les temps de conduction  $T_{on}$  du semi-conducteur fournissant l'énergie à la charge deviennent très courts et les interrupteurs deviennent très difficiles à commander. En outre, si la tension de sortie diminue, pour une même puissance délivrée à la charge, les courants dans les semi-conducteurs deviennent importants, aux limites de leurs possibilités, avec une perte de rendement du convertisseur.

Un autre moyen pour obtenir un rapport entre la tension d'entrée et la tension de sortie, bien supérieur à 10, consiste à réaliser un dispositif abaisseur de tension comportant deux hacheurs en cascade. Dans ce dispositif, la tension de sortie d'un premier hacheur est appliquée à l'entrée d'un second hacheur. Ainsi on peut obtenir des rapports entre la tension d'entrée et la tension de sortie du dispositif beaucoup plus importants que ceux obtenus par un seul hacheur. Néanmoins, un tel dispositif abaisseur comportant deux hacheurs en cascade présente un rendement global inférieur au rendement d'un seul hacheur et un coût de réalisation plus important.

Afin de pallier les inconvénients des hacheurs série de l'art antérieur, l'invention propose un hacheur série comportant :

- une paire de bornes d'entrée A et B pour connecter une tension continue d'entrée  $V_{in}$  entre ces deux bornes, le potentiel de la borne A étant supérieur au potentiel de la borne B ;

- une paire  $P_0$  d'interrupteurs SB, SH en série connectée par l'interrupteur SB à la borne d'entrée B, chaque interrupteur SB, SH comportant une entrée de commande pour être mis simultanément, l'un dans un état passant par l'application à son entrée de commande d'un premier signal de commande, l'autre dans un état isolé par l'application à son entrée de commande d'un second signal de commande complémentaire du premier ;

- une paire de bornes de sortie C et D, pour alimenter, par une tension de sortie  $V_{out}$ , une charge  $R_{out}$ , la borne de sortie D étant connectée à la borne d'entrée B et la borne de sortie C au point de connexion entre les deux interrupteurs SB et SH en série à travers une self de filtrage  $L_{out}$ , caractérisé en ce qu'il comporte :

- K autres paires supplémentaires  $P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_{K-1}, P_K$  d'interrupteurs en série entre la borne d'entrée A et l'interrupteur SH de la paire  $P_0$ , avec  $i = 1, 2, \dots, K-1, K$ , les deux interrupteurs d'une même paire supplémentaire  $P_i$  étant connectés en série à travers une self de récupération d'énergie  $Lr_i$  ;

- K groupes d'entrée,  $Gin_1, Gin_2, \dots, Gin_i, \dots, Gin_{K-1}, Gin_K$ , de  $N_i$  capacités C de même valeur en série chacun, avec  $i = 1, 2, \dots, K-1, K$  et  $N_i = (K+1)-i$ , l'électrode des capacités d'une des deux extrémités de chaque groupe d'entrée  $Gin_1, Gin_2, \dots, Gin_i, \dots, Gin_{K-1}, Gin_K$  étant connectée à la borne d'entrée A, au moins l'électrode des capacités de chacune des autres extrémités des groupes d'entrée  $Gin_1, Gin_2, \dots, Gin_i, \dots, Gin_{K-1}, Gin_K$  étant connectée respectivement au point de connexion entre deux paires d'interrupteurs consécutives  $P_{(i-1)}$  et  $P_i$  ;

- K groupes de sortie,  $Gout_1, Gout_2, \dots, Gout_i, \dots, Gout_{K-1}, Gout_K$ , de  $M_i$  capacités C de même valeur en série chacun, avec  $i = 1, 2, K$  et  $M_i = i$ , l'électrode des capacités d'une des deux extrémités de chaque groupe de sortie  $Gout_1, Gout_2, \dots, Gout_i, \dots, Gout_{K-1}, Gout_K$  étant connectée au point commun entre les deux interrupteurs de la paire  $P_0$ , au moins l'électrode des capacités de chacune des autres extrémités des groupes de sortie  $Gout_1, Gout_2, \dots, Gout_i, \dots, Gout_K$  étant connectée respectivement au point commun entre chaque interrupteur  $SH_i$  et la self de récupération  $Lr_i$  de la paire correspondante  $P_i$  de même rang  $i$ ,

en ce que les interrupteurs de ces autres K paires supplémentaires sont commandés simultanément par les premiers et seconds signaux de commande complémentaires formant, lorsque l'interrupteur SB de la paire P\_0 relié à la borne B est commandé dans l'état passant pendant un temps Toff, un premier réseau de capacités connecté entre la borne A et la borne B, comportant les groupes de capacités d'entrée en série avec les groupes de capacités de sortie tels qu'un groupe de capacités d'entrée Gin\_i est en série, à travers sa respective self de récupération d'énergie Lr\_i, avec son respectif groupe de capacités de sortie Gout\_i,

et en ce que lorsque l'interrupteur SB de la paire P\_0 relié à la borne d'entrée B est commandé dans l'état isolé, SH étant commandé à l'état passant, pendant un temps Ton, ces autres K paires d'interrupteurs forment un second réseau de capacités connecté entre la borne A et la self de filtrage de sortie Lout comportant le groupe d'entrée Gin\_1 en parallèle avec le groupe de sortie Gout\_K, en parallèle avec des groupes de capacités d'entrée en série avec des groupes des capacités de sortie tels qu'un groupe de capacités d'entrée Gin\_i se trouve en série avec un groupe de capacités de sortie Gout\_(i-1).

La tension Vout en sortie du hacheur est fonction du rapport cyclique Ton/T, les capacités C des réseaux ayant une même valeur, la tension Vout est donnée par la relation :

$$Vout = Vin.(Ton/T).1/(K+1)$$
 avec une fréquence de découpage de la tension d'entrée Vin de période  $T = Ton + Toff$ .

L'invention sera mieux comprise à l'aide d'exemples de réalisations selon l'invention, en référence aux dessins indexés, dans lesquels :

- la figure 1a, déjà décrite, représente le schéma de principe d'un hacheur série abaisseur de tension ;

- les figures 1b, 1c, 1d et 1e montrent des diagrammes d'état de commande du hacheur de la figure 1a ;

- la figure 2 montre la structure générale du hacheur selon l'invention comportant K paires d'interrupteurs supplémentaires ;

- la figure 3 montre une structure d'un hacheur série comportant deux paires d'interrupteurs sans les selfs Lr\_i de récupération ;

- la figure 4 montre le hacheur de la figure 3 dans une configuration plus réaliste ;

- la figure 5 représente les pertes en watts dans le cas du hacheur de la figure 3 alimenté par une source de tension parfaite et par une source réelle ;

5 - la figure 6 montre les courbes des pertes en watts pour différentes tensions de sortie  $V_{out}$  du hacheur de la figure 4 ;

- la figure 7 montre les variations de pertes de puissance de la figure 5 exprimées en pourcentage de la puissance fournie par le hacheur ;

- la figure 8 montre les variations de pertes de puissance de la figure 6 exprimées en pourcentage de la puissance fournie par le hacheur ;

10 - la figure 9a montre un hacheur selon l'invention dans une structure comportant deux paires d'interrupteurs et dans la configuration plus réaliste de la figure 4 ;

- la figure 10 montre un schéma équivalent du hacheur de la figure 9a selon l'invention pendant la période  $T_{off}$  ;

15 - la figure 11 montre les signaux de commande des interrupteurs du hacheur de la figure 9a pendant les temps  $T_{off}$  et  $T_{on}$  ;

- la figure 12 montre, pendant le temps  $T_{off}$ , la variation du courant  $I_{lr\_1}$  dans la self de récupération d'énergie  $L_{r\_1}$  ;

20 - la figure 13 représente l'espace énergétique dans la self de récupération  $L_{r\_1}$  et dans les capacités  $C_e$ ,  $C_s$  du hacheur ;

- la figure 14 montre la variation de la valeur de la tension  $V_{in}$  aux bornes du hacheur selon l'invention ;

- les figures 15 et 16 représentent deux structures pratiques du hacheur série selon l'invention ;

25 - la figure 17 représente une variante du hacheur série de la figure 9a selon l'invention

La figure 2 montre la structure générale du hacheur selon l'invention comportant  $K$  paires d'interrupteurs supplémentaires. Le hacheur de la figure 2 comporte, en outre, la diode  $D$  de retour de courant aux bornes de l'interrupteur  $SB$  dont l'anode est connectée du côté des bornes  $B$  et  $D$  et une capacité  $C_{out}$  de filtrage de sortie en parallèle sur la charge  $R_{out}$  entre les bornes de sortie  $C$  et  $D$ .

30 Dans la structure générale du hacheur selon l'invention de la figure 2 les tensions  $V_c$  aux bornes des capacités des groupes d'entrée ou des



groupes de sortie ont une même valeur continue, ainsi, les capacités situées à un même niveau de potentiel peuvent être reliées entre elles.

Pour expliquer l'amélioration du rendement du hacheur série selon l'invention apportée par les selfs de récupération  $Lr_i$ , connectées entre les deux interrupteurs de chacune des paires supplémentaires, dans une première étape de cette explication, la figure 3 montre une structure d'un hacheur série comportant deux paires d'interrupteurs sans les selfs  $Lr_i$  de récupération, les interrupteurs de chaque paire étant dans ce cas connectés directement en série, la tension d'alimentation  $V_{in}$  étant supposée provenir d'un générateur  $E_p$  parfait dont la tension est indépendante du courant débité.

Le hacheur de la figure 3 comporte deux paires  $P_0$  et  $P_1$ , chacune des paires ayant deux interrupteurs connectés en série, les interrupteurs  $SB$ ,  $SH$  pour la paire  $P_0$  et les interrupteurs  $SB_1$ ,  $SH_1$  pour la paire supplémentaire  $P_1$ . Chaque interrupteur d'une paire comporte une entrée de commande pour être mis simultanément, l'un dans un état passant par l'application à son entrée de commande d'un premier signal de commande  $C1$ , l'autre dans un état isolé par l'application à son entrée de commande d'un second signal de commande  $C2$  complémentaire du premier ;

Pour expliquer le fonctionnement du hacheur de la figure 3, la capacité du groupe d'entrée  $G_{in}$  sera désignée  $C_e$  et la capacité du groupe de sortie  $G_{out}$  par  $C_s$ .

Au début de la phase de conduction des interrupteurs  $SH$  et  $SH_1$  de chacune des deux paires, la tension  $V_{ce}$  aux bornes de la capacité  $C_e$  d'entrée et la tension  $V_{cs}$  aux bornes de la capacité de sortie  $C_s$  sont égales à  $V_{in}/2$ ,  $C_e$  et  $C_s$  ayant la même valeur égale à  $C1$ .

A la fin de la phase de conduction  $V_{ce}$  et  $V_{cs}$  sont toujours égales mais leurs valeurs deviennent :

$$V_{ce} = V_{cs} = \frac{V_{in}}{2} + \frac{1}{C1} \cdot \frac{I_{out}}{2} \cdot t_{on}$$

avec  $I_{out}$  courant dans la résistance de charge  $R_{out}$  du hacheur  
 $T_{on}$  temps de conduction de  $SH$  et  $SH_1$

Lors de la phase suivante de conduction des interrupteurs SB et SB\_1 des deux paires (Toff), la somme des tensions aux bornes des capacités Ce et Cs est ramenée à la même valeur avec :

$$V_{ce} = V_{cs} = \frac{V_{in}}{2}$$

On a donc une perte d'énergie due au rééquilibrage résistif des capacités Ce et Cs à travers les interrupteurs SB et SB\_1.

Les pertes de ce rééquilibrage augmentent avec le courant débité Iout et avec le rapport cyclique.

Ces pertes sont données par la relation (1) :

$$P(w) = \frac{I_{out}^2 \cdot V_{out}^2}{F \cdot C1 \cdot V_{in}^2}$$

Avec :

$$\begin{aligned} V_{in} &= 32 \text{ volts} \\ V_{out} &= 5 \text{ volts} \\ I_{out} &= 10 \text{ ampères} \\ C1 &= 10 \text{ microfarads} \\ F &= 350 \text{ KHz} \end{aligned}$$

Les pertes sont de 1,163 watts pour une puissance de sortie de 50 watts, soit environ, 2.3% de la puissance de sortie.

La figure 4 montre le hacheur de la figure 3 dans une configuration plus réaliste. En effet, l'alimentation du hacheur comporte le générateur Ep de tension en série avec une self d'entrée Lin de la connectique d'alimentation et une capacité de filtrage d'entrée Cin en parallèle entre les deux bornes d'entrée A et B du hacheur.

Dans cette configuration de la figure 4, on observe le même accroissement de tension Vce et Vcs sur les respectives capacités Ce et Cs pendant la phase de conduction des interrupteurs SH et SH\_1, avec en plus une diminution de la tension aux bornes de la capacité d'entrée Cin de :

$$\Delta V_{cin} = -\frac{I_{out}}{C_{in}} \cdot t_{on}$$

Lors de la fermeture de SB et SB\_1 nous avons aussi un rééquilibrage résistif et donc dissipatif de Cin, Ce et Cs.

Les pertes de rééquilibrage dans le cas du hacheur de la figure 4 plus réaliste sont données par l'équation (2) :

$$P(w) = \frac{F}{2} \cdot \left[ C_{in} \cdot \left( V_{in} - \frac{2 \cdot I_{out} \cdot V_{out}}{F \cdot C_{in} \cdot V_{in}} \right)^2 + \frac{C_1}{2} \cdot \left( V_{in} - \frac{2 \cdot I_{out} \cdot V_{out}}{F \cdot C_1 \cdot V_{in}} \right)^2 - \left( C_{in} + \frac{C_1}{2} \right) \cdot \left( V_{in} - \frac{2 \cdot I_{out} \cdot V_{out}}{F \cdot C_{in} \cdot V_{in}} + \frac{C_1 + C_{in}}{2 \cdot C_{in} + C_1} \cdot \frac{2 \cdot I_{out} \cdot V_{out}}{F \cdot C_{in} \cdot V_{in}} \right)^2 \right]$$

5

Avec :

Vin = 32 volts

Vout = 5 volts

Iout = 10ampères

10

Cin = 6 microfarads

C1 = 6 microfarads

F = 350 KHz

Les pertes sont de 3,1 watts pour une puissance de sortie de 50 watts, soit environ, 6.2% de la puissance de sortie, donc une perte trois fois plus élevée que dans le cas du circuit avec alimentation parfaite de la figure 3.

On notera que la limite de cette équation (2) lorsque Cin tend vers l'infini est l'équation d'une tension d'entrée Vin parfaite. En pratique, nous sommes limités par la taille et le coût de la capacité de filtrage d'entrée Cin. Nous aurons bien dans la pratique une perte trois fois plus importante que dans le cas théorique représenté à la figure 3.

Ce résultat avec K=1 est généralisable à des hacheurs comportant plus d'une paire supplémentaire.

La figure 5 montre les pertes P(w) en watts en fonction du courant de sortie Iout dans la charge Rout pour une tension Vout de 5 volts..

La courbe Cp(w) de la figure 5 représente les pertes en watts dans le cas du hacheur de la figure 3 alimenté par une source de tension parfaite. La courbe Cr(w) de la même figure 5 représente les pertes en watts dans le cas du hacheur de la figure 4 plus réaliste.

La figure 7 montre les variations de pertes de puissance de la figure 5 exprimées en pourcentage de la puissance fournie par le hacheur. Courbes  $C_p(\%)$  et  $C_r(\%)$

Dans le cas des figures 5 et 7, les pertes  $P(w)$  sont calculées pour les  
5 valeurs des paramètres suivants :

$V_{in} = 32$  volts

$V_{out} = 5$  volts

$I_{out} = 10$  ampères

$C_{in} = 6$  microfarads

10  $C_1 = 6$  microfarads

$F = 350$  KHz,  $F$  étant la fréquence de découpage du hacheur.

La figure 6 montre les courbes des pertes  $P(w)$  en watts pour différentes tensions de sortie  $V_{out}$  du hacheur de la figure 4 plus réaliste, les  
15 autres paramètres étant identiques à ceux de la réalisation de la figure 3.

La figure 8 montre les variations de pertes de puissance de la figure 6 exprimées en pourcentage de la puissance fournie par le hacheur.

La figure 9a montre un hacheur selon l'invention dans une structure comportant deux paires d'interrupteurs et dans la configuration plus réaliste  
20 de la figure 4 au niveau de l'alimentation. L'alimentation, fournissant la tension d'alimentation  $V_{in}$  du hacheur, comporte le générateur  $E_p$  de tension en série avec la self d'entrée  $L_{in}$  et la capacité de filtrage  $C_{in}$  en parallèle entre les deux bornes d'entrée A et B du hacheur.

Le hacheur de la figure 9a comporte la paire  $P_0$  ayant les deux  
25 interrupteurs SB et SH connectés en série et la paire supplémentaire  $P_1$  ayant les deux interrupteurs SB\_1 et SH\_1 connectés en série à travers une self de récupération d'énergie  $L_{r_1}$ .

Nous allons, par la suite, expliquer le fonctionnement du hacheur série de la figure 9a selon l'invention.

30 La figure 10 montre un schéma équivalent du hacheur de la figure 9a selon l'invention pendant la période  $T_{off}$  correspondant à la période de conduction des interrupteurs des deux paires SB et SB\_1. Pendant ce temps  $T_{off}$  les interrupteurs SB et SB\_1 sont fermés, les interrupteurs SH et SH\_1 sont ouverts, la capacité d'entrée  $C_{in}$  est en parallèle avec les deux  
35 capacités  $C_e$  et  $C_s$  en série avec la self  $L_{r_1}$  de récupération.

La self de récupération  $Lr\_1$  est calculée pour obtenir une résonance du circuit oscillant de la figure 10 telle que :

$$T_{off} = \pi \sqrt{Lr\_1 \cdot Ceq}$$

avec

$$Ceq = \frac{1}{\frac{1}{Cin} + \frac{1}{Ce} + \frac{1}{Cs}}$$

On considère que  $T_{off}$  est constant et égal à environ la demi-période de la fréquence de résonance du circuit équivalent de la figure 10.

La figure 11 montre les signaux de commande des interrupteurs du hacheur de la figure 9a pendant les temps  $T_{off}$  et  $T_{on}$ .

La figure 12 montre pendant le temps  $T_{off}$ , la variation du courant  $I_{lr\_1}$  dans la self de récupération d'énergie  $Lr\_1$  ainsi que la somme des tensions ( $V_{ce} + V_{cs}$ ) aux bornes des respectives capacités  $Ce$  et  $Cs$ .

Au temps  $t_1$  lors du passage de  $T_{on}$  à  $T_{off}$ , le courant dans la self est nul, la tension ( $V_{ce} + V_{cs}$ ) aux bornes des capacités  $Ce$  et  $Cs$  est supérieure à la valeur moyenne  $V_{inm}$  de  $V_{in}$  et décroît en passant par la valeur moyenne de  $V_{in}$ , le courant dans la self augmente en emmagasinant de l'énergie magnétique, passe par une valeur maximum lorsque ( $V_{ce} + V_{cs}$ ) passe par la valeur moyenne de  $V_{in}$ , puis le courant décroît jusqu'à une valeur nulle, correspondant à la fin de  $T_{off}$ , rendant l'énergie aux capacités  $Ce$  et  $Cs$ . Le courant dans la self devenant nul, la somme des tensions ( $V_{ce} + V_{cs}$ ) s'accroît, pendant le temps  $T_{on}$ , au-dessus de la valeur moyenne de  $V_{in}$  puis le cycle recommence au début de  $T_{off}$ .

La figure 13 représente l'espace énergétique dans la self de récupération  $Lr\_1$  et dans les capacités  $Ce$ ,  $Cs$  du hacheur. L'axe des abscisses représente l'énergie des capacités  $W_c$  l'axe des ordonnées l'énergie dans la self  $W_{lr\_1}$ , la variation d'énergie entre la self et les capacités se produisant dans le temps  $T_{off}$ . Pendant cette phase  $T_{off}$ , la variation de l'énergie dans les capacités et dans la self produit une faible variation de la valeur moyenne de la tension  $V_{in}$ . L'énergie est transférée des capacités vers la self de récupération puis rendue aux capacités.

L'accord du circuit du hacheur à la fréquence de fonctionnement avec la self de récupération  $Lr\_1$  diminue considérablement les pertes résistives

dans le circuit du hacheur série selon l'invention. Ces pertes deviennent alors pratiquement nulles.

La figure 14 montre la variation de la valeur de la tension  $V_{in}$  aux bornes du hacheur selon l'invention.

- 5 Pendant le temps  $T_{off}$  la tension  $V_{in}$  varie selon  $(V_{cs}+V_{ce})$ ,  
de  $+\Delta v$  à  $-\Delta v$  puis pendant  $T_{on}$  la tension varie de  $-\Delta v$  à  $\Delta v$  en fonction du courant de sortie  $I_{out}$ , cette variation est donnée par la relation (3):

$$\frac{I_{out}}{2} \cdot \frac{dt}{C1}$$

- 10 En outre, afin de rendre plus fiable le hacheur selon l'invention, le hacheur série représenté à la figure 9a comporte en parallèle avec la paire  $P_1$  une diode  $Sc_1$  en série avec une impédance  $Z_1$ , l'anode de la diode  $Sc_1$  étant connectée au point de connexion entre la paire  $P_1$  et la paire inférieure  $P_0$ , le point commun entre la cathode de la diode  $Sc_1$  et  
15 l'impédance  $Z_1$  étant connecté au point de connexion entre l'interrupteur  $SB_1$  et la self de récupération  $Lr_1$ .

- En effet, en pratique, le  $T_{off}$  ne représente pas parfaitement la demi-période de résonance du circuit équivalent de la figure 10, l'impédance  $Z_1$  permet de dissiper le courant résiduel et protéger les interrupteurs qui sont  
20 généralement des transistors MOS. La diode  $Sc_1$  est une diode de « roue libre ».

- Cette amélioration du hacheur de la figure 9a est applicable dans le cas général, ainsi chaque paire supplémentaire  $P_i$  du hacheur selon l'invention comporte en parallèle une diode  $Sc_i$  en série avec une  
25 impédance  $Z_i$ , l'anode de la diode  $Sc_i$  étant connectée au point de connexion entre la paire  $P_i$  et la paire inférieure  $P_{i-1}$ , le point commun entre la cathode de la diode  $Sc_i$  et l'impédance  $Z_i$  étant connecté au point commun entre l'interrupteur  $SB_i$  et la self de récupération  $Lr_i$ .

- L'impédance  $Z_i$  comporte, dans une première version montrée à la  
30 figure 9b, une diode  $Dd$  en série avec une résistance  $r$ , l'anode de la diode  $Dd$  étant reliée, dans le circuit du hacheur, à la cathode de la diode  $Sc_i$  et dans une seconde version, montrée à la figure 9c, l'impédance  $Z_i$  comporte la diode  $Dd$  en série avec une diode zéner  $Dz$ , les deux cathodes de la diode

Dd et la diode zéner Dz étant reliées entre elles, l'anode de la diode Dd étant reliée, dans le circuit du hacheur, à la cathode de la diode Sc<sub>i</sub>.

Les diodes de « roue libre » Sc<sub>1</sub>,...Sc<sub>i</sub>, la diode D assurant la continuité de courant dans la self de sortie Lout et les diodes Dd des impédances Z<sub>i</sub> peuvent être, pour certaines réalisations du hacheur, des diodes au silicium, pour d'autres réalisations, des diodes Schottky .

L'explication du fonctionnement du hacheur série comportant la self de récupération Lr<sub>1</sub> à deux paires (K=1) reste valable pour un nombre quelconque de K paires supplémentaires. En effet, les courants dans les différentes paires P<sub>i</sub> et dans la self de récupération correspondante Lr<sub>i</sub> sont les mêmes, le nombre de capacités élémentaires C dans les groupes mis en série par les interrupteurs étant les mêmes.

Cette structure générale représentée à la figure 2 permet de réaliser simplement différentes autres structures pratiques et de déterminer directement la valeur des capacités dans chaque branche d'entrée ou de sortie.

En effet, comme cela a été dit précédemment, dans la structure générale de la figure 2 comportant des capacités C de même valeur, les tensions Vc aux bornes de chacune des capacités sont les mêmes pour les groupes d'entrée et les mêmes pour les groupes de sortie, de ce fait, les capacités d'un même niveau de potentiel peuvent être connectées en partie ou en totalité en parallèle.

Les capacités d'un même niveau de potentiel Nin<sub>1</sub> sont, par exemple, toutes celles des groupes d'entrée Gin<sub>1</sub>, Gin<sub>2</sub>,...Gin<sub>i</sub>,...Gin<sub>K-1</sub>, Gin<sub>K</sub> ayant une électrode connectée à la borne d'entrée A, d'un niveau de potentiel Nin<sub>2</sub>, toutes celles connectées par une électrode aux électrodes libres des capacités du niveau Nin<sub>1</sub> et par l'autre électrode à celles du niveau suivant Nin<sub>3</sub> et ainsi de suite jusqu'au niveau Nin<sub>K</sub>.

De même, pour les capacités des groupes de sortie, nous aurons le niveau Nout<sub>1</sub> pour toutes celles des groupes de sortie, Gout<sub>1</sub>, Gout<sub>2</sub>,...Gout<sub>i</sub>,...Gout<sub>K-1</sub>, Gout<sub>K</sub> connectées au point commun entre les deux interrupteurs de la paire P<sub>0</sub>, d'un niveau de potentiel Nout<sub>2</sub> toutes celles connectées par une électrode aux électrodes libres des capacités du niveau Nout<sub>1</sub> et par l'autre électrode à celles du niveau suivant Nout<sub>3</sub> et ainsi de suite jusqu'au niveau Nout<sub>K</sub>.

Les traits en pointillés sur le schéma de la figure 2 représentent les connexions possibles entre les capacités C de même valeur.

Dans une première structure pratique représentée à la figure 15 ne comportant pas d'interconnexion entre les capacités d'un même niveau de potentiel, chacun des groupes d'entrée  $G_{in\_i}$  ou de sortie  $G_{out\_i}$  comporte respectivement une seule capacité  $C_{ea\_1}, C_{ea\_2}; \dots C_{ea\_i}; \dots C_{ea\_K}$  pour le groupe d'entrée  $G_{in\_i}$  et  $C_{sa\_1}, C_{sa\_2}; \dots C_{sa\_i}; \dots C_{sa\_K}$  pour les groupes de sortie  $G_{out\_i}$ . La valeur de chacune de ces capacités d'entrée  $C_{ea\_i}$  se déduit simplement de la structure générale par le calcul de la capacité résultante de  $N_i = (K+1)-i$  capacités C en série, avec  $i=1, 2, \dots, K$ ,  $i$  étant l'ordre du groupe d'entrée considéré :

$$C_{ea\_1} = C/K \quad i=1$$

$$C_{ea\_2} = C/(K-1) \quad i=2$$

....

$$C_{ea\_i} = C/((K+1)-i) \quad i$$

.....

$$C_{ea\_K} = C \quad i=K$$

La valeur de chacune de ces capacités de sortie  $C_{sa\_i}$  se déduit simplement de la structure générale par le calcul de la capacité résultante de  $M_i=i$  capacités C en série,  $i$  étant l'ordre du groupe de sortie considéré :

$$C_{sa\_1} = C \quad i=1$$

$$C_{sa\_2} = C/2 \quad i=2$$

....

$$C_{sa\_i} = C/i \quad i$$

.....

$$C_{sa\_K} = C/K \quad i=K$$

Dans une deuxième structure pratique représentée à la figure 16 comportant les interconnexions entre les capacités d'un même niveau  $N_v$  de potentiel (capacités en parallèle), la structure comporte un seul groupe d'entrée  $G_{in}$  et un seul groupe de sortie  $G_{out}$ . La capacité d'entrée de chacun des niveaux de potentiel  $N_{in\_i}$ ,  $i$  étant l'ordre du niveau de potentiel



considéré en entrée, en parallèle avec sa respective paire  $P_i$  sera déduite simplement en calculant la capacité  $Ceb_i$  équivalente aux capacités en parallèle du niveau  $Nin_i$  considéré, soit :

$$\begin{array}{ll}
 5 & Ceb_1 = C.K \quad i=1 \\
 & Ceb_2 = C.(K-1) \quad i=2 \\
 & .... \\
 & Ceb_i = C.((K+1)-i) \quad i \\
 & ..... \\
 10 & Ceb_K = C \quad i=K
 \end{array}$$

La capacité de sortie de chacun des niveaux de potentiel  $Nout_i$ , en parallèle entre deux paires consécutives paire  $P_i$ ,  $P_{i-1}$  sera déduite simplement en calculant la capacité  $Csb_i$  équivalente aux capacités en parallèle du niveau  $Nout_i$  considéré,  $i$  étant l'ordre du niveau de potentiel en sortie considéré, soit :

$$\begin{array}{ll}
 & Csb_1 = C.K \quad i=1 \\
 & Csb_2 = C.(K-1) \quad i=2 \\
 20 & .... \\
 & Csb_i = C.((K+1)-i) \quad i \\
 & ..... \\
 & Csb_K = C \quad i=K
 \end{array}$$

25 Dans d'autres réalisations on peut, bien entendu, combiner les deux types de réalisations pratiques en mettant des capacités en parallèle pour certains groupes et en série pour d'autres.

La figure 17 représente une variante du hacheur série de la figure 9a selon l'invention. Dans cette variante la self de récupération  $Lr_1$  est  
 30 remplacée par un transformateur  $Tr_1$  dont le primaire est connecté à la place de la self de récupération entre les deux interrupteurs de la première paire supplémentaire  $P_1$ , le secondaire étant connecté d'un côté aux bornes B et D du hacheur et de l'autre côté à la borne d'entrée A à travers une diode zéner  $Zb_1$  dont la cathode se trouve connectée à ladite borne  
 35 d'entrée A.

Dans cette variante le transfert d'énergie emmagasinée dans la self du transformateur  $Tr_1$  s'effectue vers la source d'alimentation (capacité  $C_{in}$ ) et non pas vers les capacités de liaison  $C$  comme dans le cas de la réalisation de la figure 9a.

5 Dans un cas général, la réalisation de la figure 17 est applicable à un hacheur comportant plus d'une paire supplémentaire, le hacheur comporte alors  $K$  transformateurs de récupération, le primaire d'un transformateur d'ordre  $Tr_i$  étant connecté entre les deux interrupteurs de la paire supplémentaire  $P_i$ , le secondaire étant connecté d'un côté aux bornes B et  
10 D du hacheur et de l'autre côté à la borne d'entrée A à travers une diode zéner  $Zb_i$  dont la cathode se trouve connectée à ladite borne d'entrée A.

Dans une autre variante, le transfert d'énergie emmagasinée dans la self de récupération, s'effectue vers la charge de sortie  $R_{out}$ , le hacheur selon l'invention comporte  $K$  transformateurs de récupération, le primaire  
15 d'un transformateur d'ordre  $Tr_i$  étant connecté entre les deux interrupteurs de la paire supplémentaire  $P_i$ , le secondaire étant connecté d'un côté aux bornes B et D du hacheur et de l'autre côté à la résistance de sortie  $R_{out}$  à travers une diode zéner  $Zb_i$  dont la cathode se trouve connectée à ladite  
20 résistance de sortie, le transfert d'énergie emmagasinée dans la self de récupération s'effectuant vers la charge de sortie  $R_{out}$ .

Le hacheur série selon l'invention permet d'obtenir des rendements nettement supérieurs au rendements des hacheurs de l'état de l'art avec des rapports de tension  $V_{out}/V_{in}$  inférieurs à 1/10. Pratiquement on obtient des rendements meilleurs d'environ 6% par rapport au hacheur série de l'état de  
25 l'art avec des structures adaptables aux différents cas industriels et simples à mettre en œuvre.

## REVENDICATIONS

### 1. Hacheur série comportant :

- une paire de bornes d'entrée A et B pour connecter une tension continue d'entrée Vin entre ces deux bornes, le potentiel de la borne A étant supérieur au potentiel de la borne B ;

5       - une paire P\_0 d'interrupteurs SB, SH en série connectée par l'interrupteur SB à la borne d'entrée B, chaque interrupteur SB, SH comportant une entrée de commande pour être mis simultanément, l'un dans un état passant par l'application à son entrée de commande d'un premier signal de commande, l'autre dans un état isolé par l'application à son entrée  
10 de commande d'un second signal de commande complémentaire du premier ;

      - une paire de bornes de sortie C et D, pour alimenter, par une tension de sortie Vout, une charge Rout, la borne de sortie D étant connectée à la borne d'entrée B et la borne de sortie C au point de connexion entre les  
15 deux interrupteurs SB et SH en série à travers une self de filtrage Lout, caractérisé en ce qu'il comporte :

      - K autres paires supplémentaires P\_1, P\_2,...P\_i,..., P\_K-1, P\_K d'interrupteurs en série entre la borne d'entrée A et l'interrupteur SH de la paire P\_0, avec  $i = 1, 2, \dots, K-1, K$ , les deux interrupteurs d'une même paire  
20 supplémentaire P\_i étant connectés en série à travers une self de récupération d'énergie Lr\_i ;

      - K groupes d'entrée, Gin\_1, Gin\_2,...Gin\_i,...Gin\_K-1, Gin\_K, de Ni capacités C de même valeur en série chacun, avec  $i = 1, 2, \dots, K-1, K$  et  $N_i = (K+1)-i$ , l'électrode des capacités d'une des deux extrémités de chaque  
25 groupe d'entrée Gin\_1, Gin\_2,...Gin\_i,...Gin\_K-1, Gin\_K étant connectée à la borne d'entrée A, au moins l'électrode des capacités de chacune des autres extrémités des groupes d'entrée Gin\_1, Gin\_2,...Gin\_i,...Gin\_K-1, Gin\_K étant connectée respectivement au point de connexion entre deux paires d'interrupteurs consécutives P\_(i-1) et P\_i ;

30       - K groupes de sortie, Gout\_1, Gout\_2,...Gout\_i,...Gout\_K-1, Gout\_K, de Mi capacités C de même valeur en série chacun, avec  $i = 1, 2, K$  et  $M_i = i$ , l'électrode des capacités d'une des deux extrémités de chaque groupe de sortie Gout\_1, Gout\_2,...Gout\_i,...Gout\_K-1, Gout\_K étant connectée au

point commun entre les deux interrupteurs de la paire  $P_0$ , au moins l'électrode des capacités de chacune des autres extrémités des groupes de sortie  $Gout_1, Gout_2, \dots, Gout_i, \dots, Gout_K$  étant connectée respectivement au point commun entre chaque interrupteur  $SH_i$  et la self de récupération  $Lr_i$  de la paire correspondante  $P_i$  de même rang  $i$ ,

en ce que les interrupteurs de ces autres  $K$  paires supplémentaires sont commandés simultanément par les premiers et seconds signaux de commande complémentaires formant, lorsque l'interrupteur  $SB$  de la paire  $P_0$  relié à la borne  $B$  est commandé dans l'état passant pendant un temps  $T_{off}$ , un premier réseau de capacités connecté entre la borne  $A$  et la borne  $B$ , comportant les groupes de capacités d'entrée en série avec les groupes de capacités de sortie tels qu'un groupe de capacités d'entrée  $Gin_i$  est en série, à travers sa respective self de récupération d'énergie  $Lr_i$ , avec son respectif groupe de capacités de sortie  $Gout_i$ ,

et en ce que lorsque l'interrupteur  $SB$  de la paire  $P_0$  relié à la borne d'entrée  $B$  est commandé dans l'état isolé,  $SH$  étant commandé à l'état passant, pendant un temps  $T_{on}$ , ces autres  $K$  paires d'interrupteurs forment un second réseau de capacités connecté entre la borne  $A$  et la self de filtrage de sortie  $Lout$  comportant le groupe d'entrée  $Gin_1$  en parallèle avec le groupe de sortie  $Gout_K$ , en parallèle avec des groupes de capacités d'entrée en série avec des groupes des capacités de sortie tels qu'un groupe de capacités d'entrée  $Gin_i$  se trouve en série avec un groupe de capacités de sortie  $Gout_{(i-1)}$ .

2. Hacheur série selon la revendication 1, caractérisé en ce que chaque paire supplémentaire  $P_i$  du hacheur comporte en parallèle une diode  $Sc_i$  en série avec une impédance  $Z_i$ , l'anode de la diode  $Sc_1$  étant connectée au point de connexion entre la paire  $P_i$  et la paire inférieure  $P_{i-1}$ , le point commun entre la cathode de la diode  $Sc_1$  et l'impédance  $Z_i$  étant connecté au point commun entre l'interrupteur  $SB_i$  et la self de récupération  $Lr_i$ .

3. Hacheur série selon la revendication 2, caractérisé en ce que L'impédance  $Z_i$  comporte une diode  $Dd$  en série avec une résistance  $r$

l'anode de la diode Dd étant reliée, dans le circuit du hacheur, à la cathode de la diode Sc<sub>i</sub>.

5 4. Hacheur série selon la revendication 2, caractérisé en ce que l'impédance Z<sub>i</sub> comporte la diode Dd en série avec une diode zéner Dz, les deux cathodes de la diode Dd et la diode zéner Dz étant reliées entre elles, l'anode de la diode Dd étant reliée, dans le circuit du hacheur, à la cathode de la diode Sc<sub>i</sub>.

10 5. Hacheur série selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'il ne comporte pas d'interconnexion entre les capacités d'un même niveau de potentiel, chacun des groupes d'entrée Gin<sub>i</sub> ou de sortie Gout<sub>i</sub> comportant respectivement une seule capacité Cea<sub>1</sub>, Cea<sub>2</sub> ;....Cea<sub>i</sub>..... Ce<sub>K</sub> pour le groupe d'entrée Gin<sub>i</sub> et Csa<sub>1</sub>, Csa<sub>2</sub> ;....Csa<sub>i</sub>..... Csa<sub>K</sub>.  
15 pour les groupes de sortie Gout<sub>i</sub> et en ce que la valeur de chacune de ces capacités d'entrée Ce<sub>i</sub> se déduit par le calcul de la capacité résultante de

Ni = (K+1)-i capacités C en série, avec i=1, 2,...,K, i étant l'ordre du groupe d'entrée considéré :

20	Cea <sub>1</sub> = C/K	i=1
	Cea <sub>2</sub> = C/(K-1)	i=2
	....	
	Cea <sub>i</sub> = C/((K+1)-i)	i
	.....	
25	Cea <sub>K</sub> = C	i=K

en ce que valeur de chacune de ces capacités de sortie Csa<sub>i</sub> se déduit par le calcul de la capacité résultante de Mi=i capacités C en série, i étant l'ordre du groupe de sortie considéré :

30	Csa <sub>1</sub> = C	i=1
	Csa <sub>2</sub> = C/2	i=2
	....	
	Csa <sub>i</sub> = C/i	i
35	.....	

$$Csa_K = C/K$$

$$i=K$$

6. Hacheur série selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'il comporte des interconnexions entre les capacités d'un même niveau Nv de potentiel, la structure comportant un seul groupe d'entrée Gin et un seul groupe de sortie Gout, la capacité d'entrée de chacun des niveaux de potentiel Nin\_i, i étant l'ordre du niveau de potentiel considéré en entrée, en parallèle avec sa respective paire P\_i est déduite par le calcul de la capacité Ceb\_i équivalente aux capacités en parallèle du niveau Nin\_i considéré, soit :

:

$$Ceb_1 = C.K \quad i=1$$

$$Ceb_2 = C.(K-1) \quad i=2$$

....

$$Ceb_i = C.((K+1)-i) \quad i$$

.....

$$Ceb_K = C \quad i=K$$

En ce que la capacité de sortie de chacun des niveaux de potentiel Nout\_i, en parallèle entre deux paires consécutives paire P\_i, P\_{i-1} est déduite en calculant la capacité Csb\_i équivalente aux capacités en parallèle du niveau Nout\_i considéré, i étant l'ordre du niveau de potentiel en sortie considéré soit :

$$Csb_1 = C.K \quad i=1$$

$$Csb_2 = C.(K-1) \quad i=2$$

....

$$Csb_i = C.((K+1)-i) \quad i$$

.....

$$Csb_K = C \quad i=K$$

7. Hacheur série selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce qu'il comporte de combinaisons de capacités en parallèle pour certains groupes et en série pour d'autres.

8. Hacheur série selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce qu'il comporte K transformateurs de récupération, le primaire d'un transformateur d'ordre  $Tr_i$  étant connecté entre les deux interrupteurs de la  
5 paire supplémentaire  $P_i$ , le secondaire étant connecté d'un côté aux bornes B et D du hacheur et de l'autre côté à la borne d'entrée A à travers une diode zéner  $Zb_i$  dont la cathode se trouve connectée à ladite borne d'entrée A.

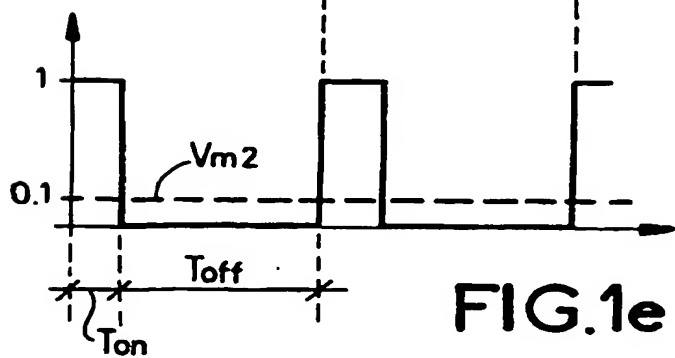
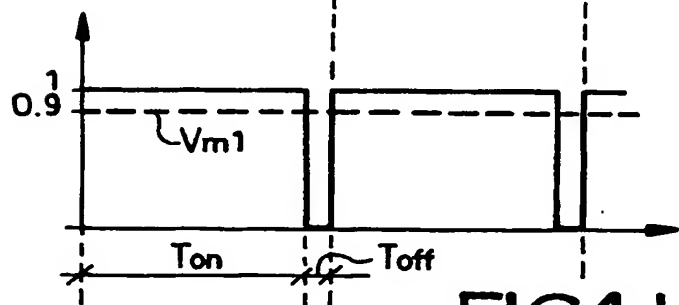
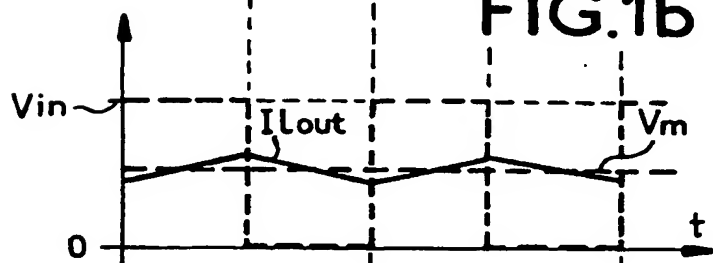
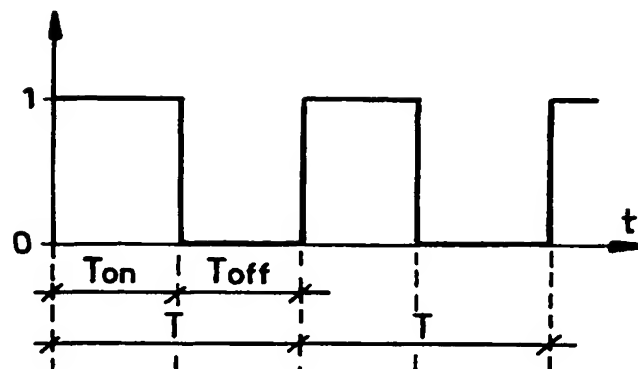
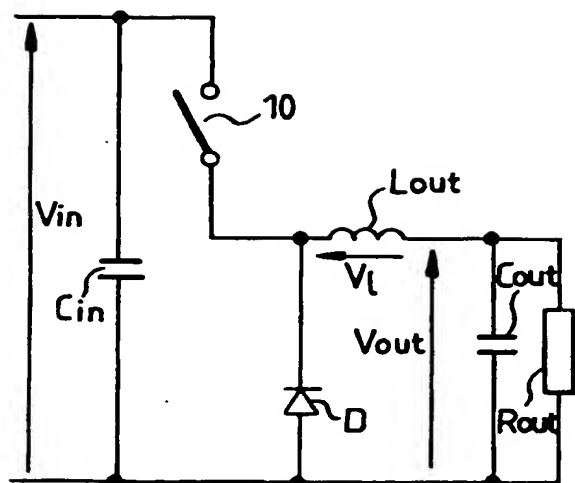
9. Hacheur série selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en  
10 ce qu'il comporte K transformateurs de récupération, le primaire d'un transformateur d'ordre  $Tr_i$  étant connecté entre les deux interrupteurs de la paire supplémentaire  $P_i$ , le secondaire étant connecté d'un côté aux bornes B et D du hacheur et de l'autre côté à la résistance de sortie  $R_{out}$  à travers une diode zéner  $Zb_i$  dont la cathode se trouve connectée à ladite résistance  
15 de sortie, le transfert d'énergie emmagasinée dans la self, s'effectuant vers la charge de sortie  $R_{out}$ .

10. Hacheur série selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce qu'il comporte une diode D de retour de courant aux bornes de  
20 l'interrupteur SB dont l'anode est connectée du côté des bornes B et D et une capacité  $C_{out}$  de filtrage de sortie en parallèle sur la charge  $R_{out}$  entre les bornes de sortie C et D.

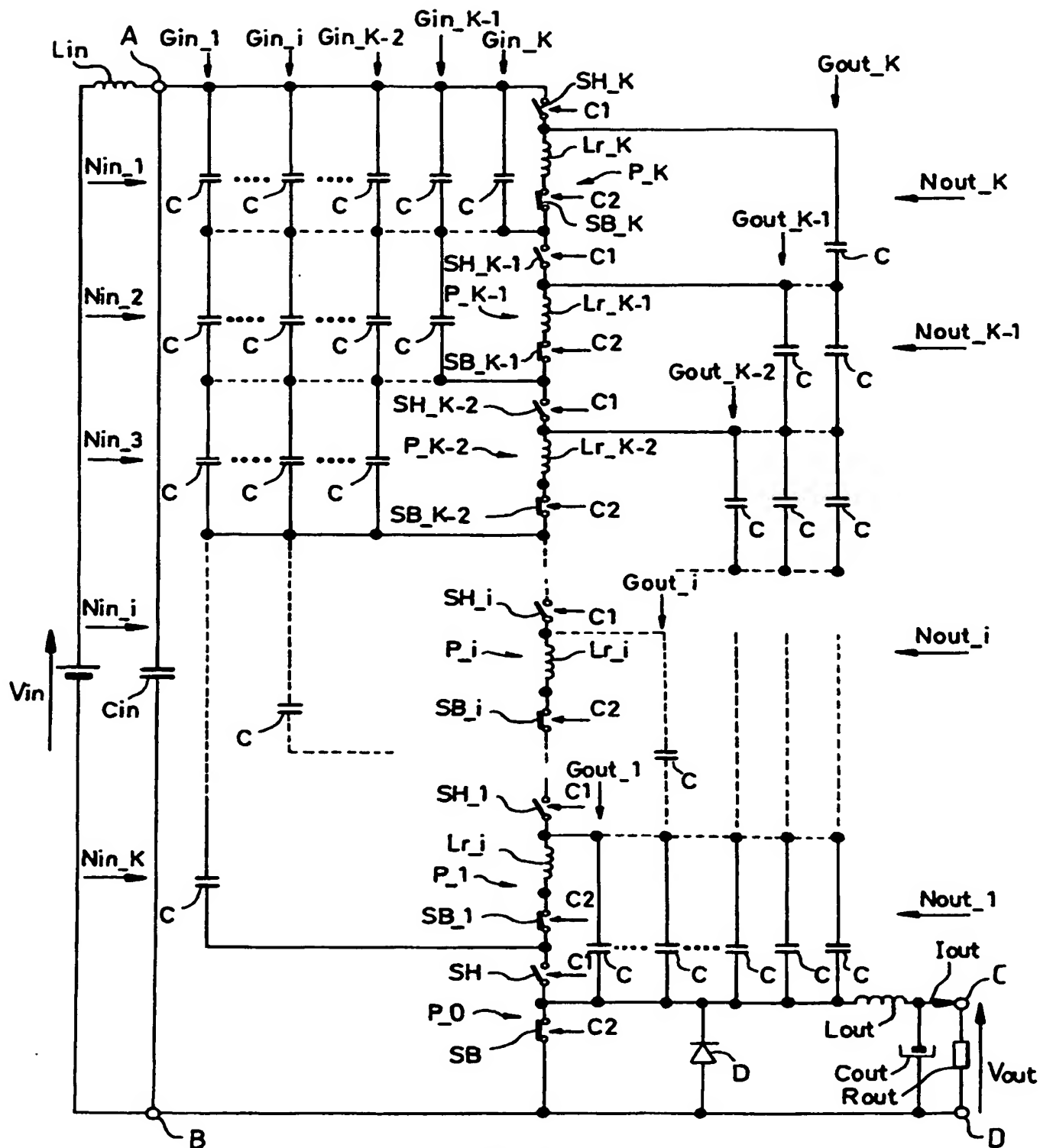
11. Hacheur série selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé  
25 en ce que les diodes de « roue libre »  $Sc_1, \dots, Sc_i$ , la diode D assurant la continuité de courant dans la self de sortie  $L_{out}$  et les diodes  $Dd$  des impédance  $Z_i$  sont des diodes au silicium.

12. Hacheur série selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en  
30 ce que les diodes de « roue libre »  $Sc_1, \dots, Sc_i$ , la diode D assurant la continuité de courant dans la self de sortie  $L_{out}$  et les diodes  $Dd$  des impédance  $Z_i$  sont des diodes Schottky .

1/10







**FIG. 2**

3/10

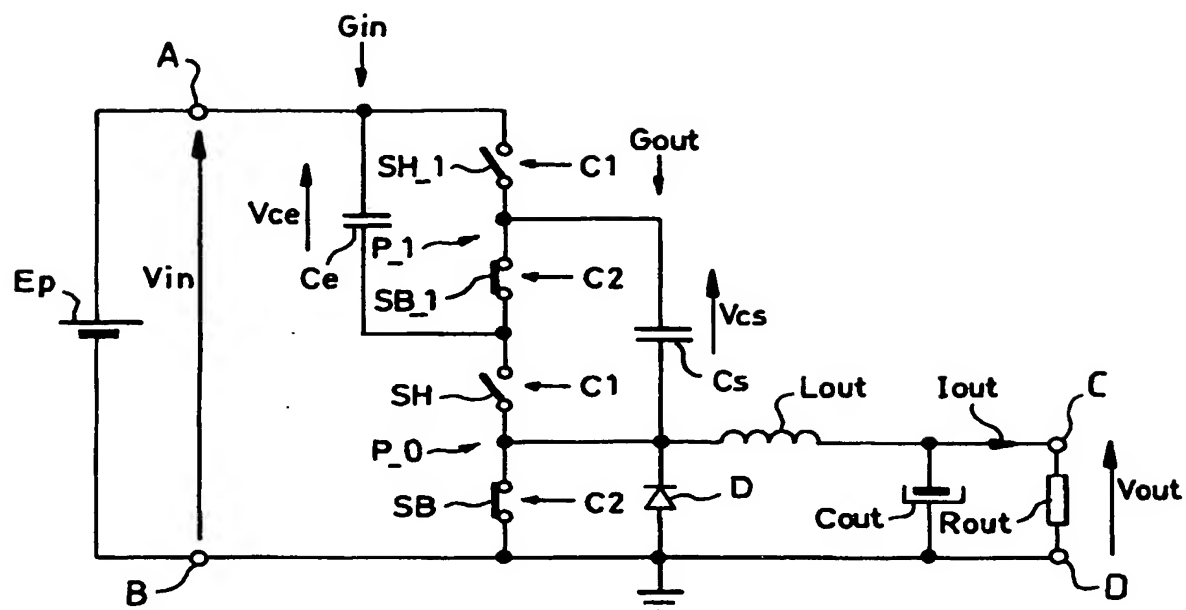


FIG. 3

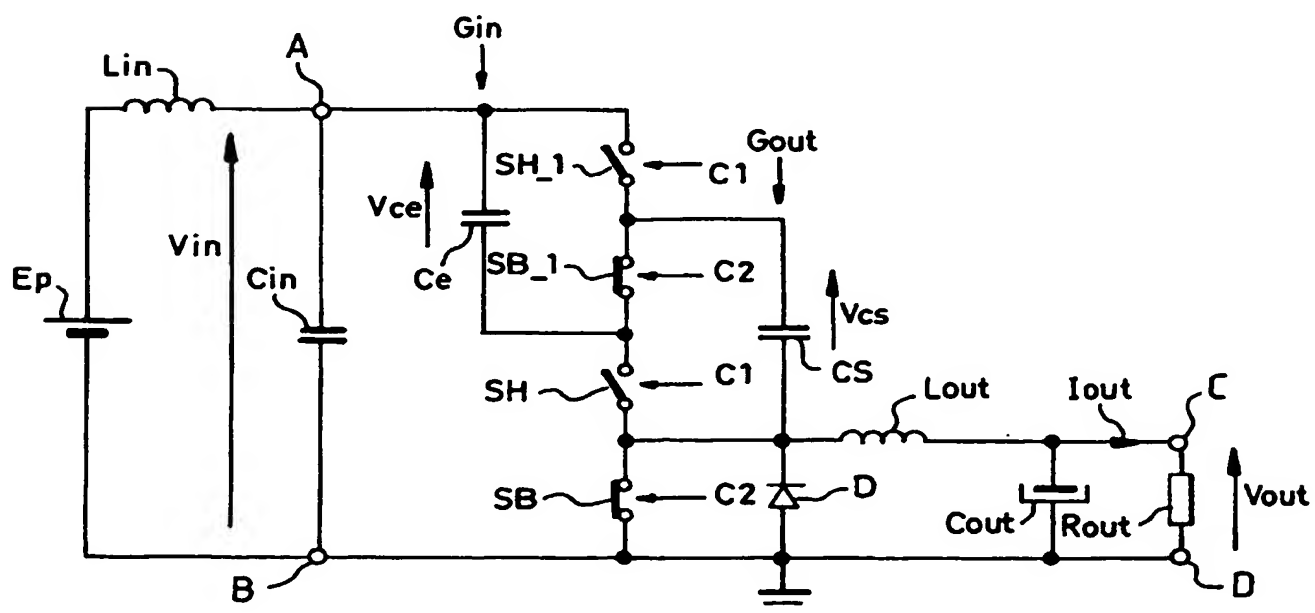


FIG. 4

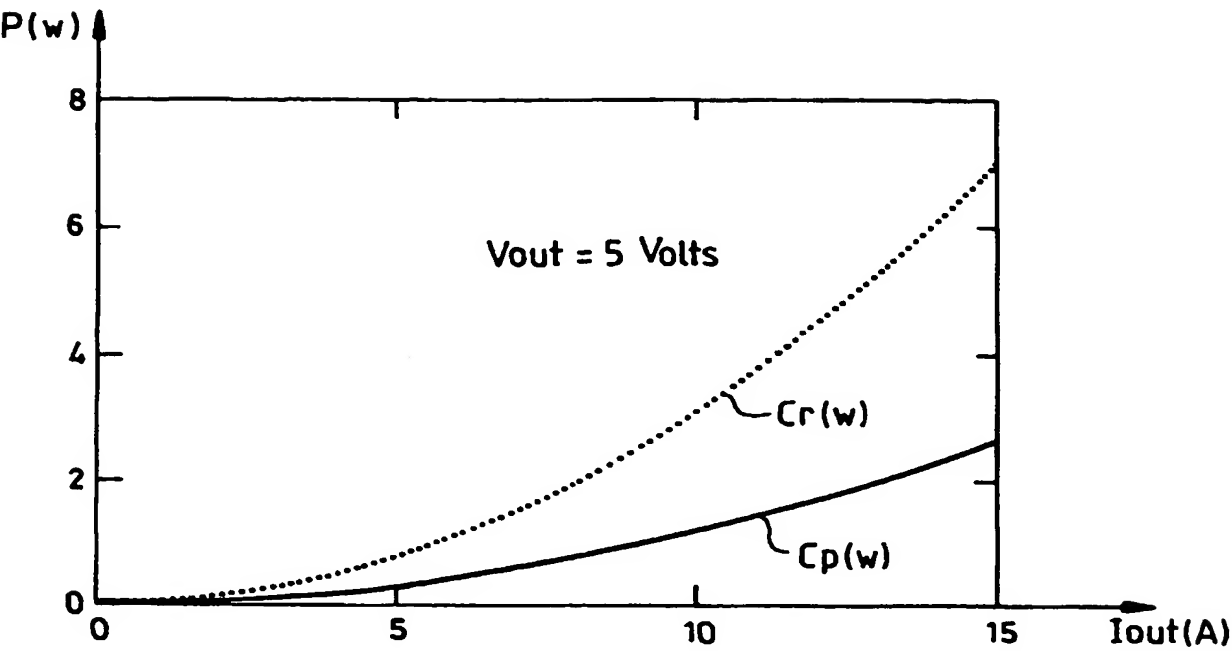


FIG.5

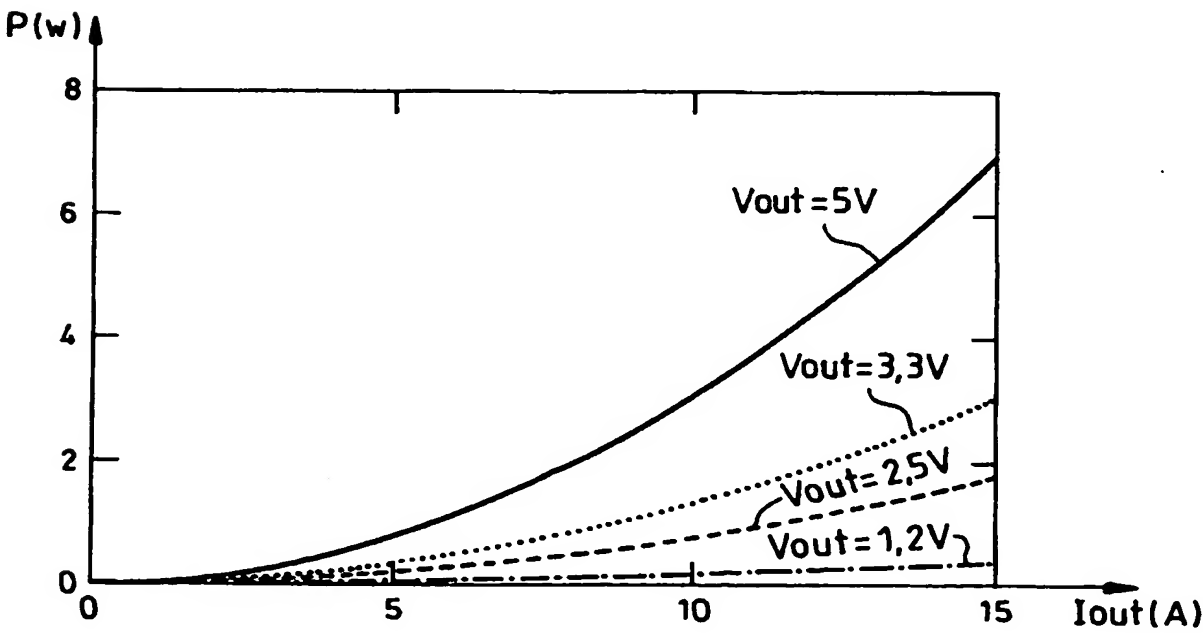


FIG.6

5/10

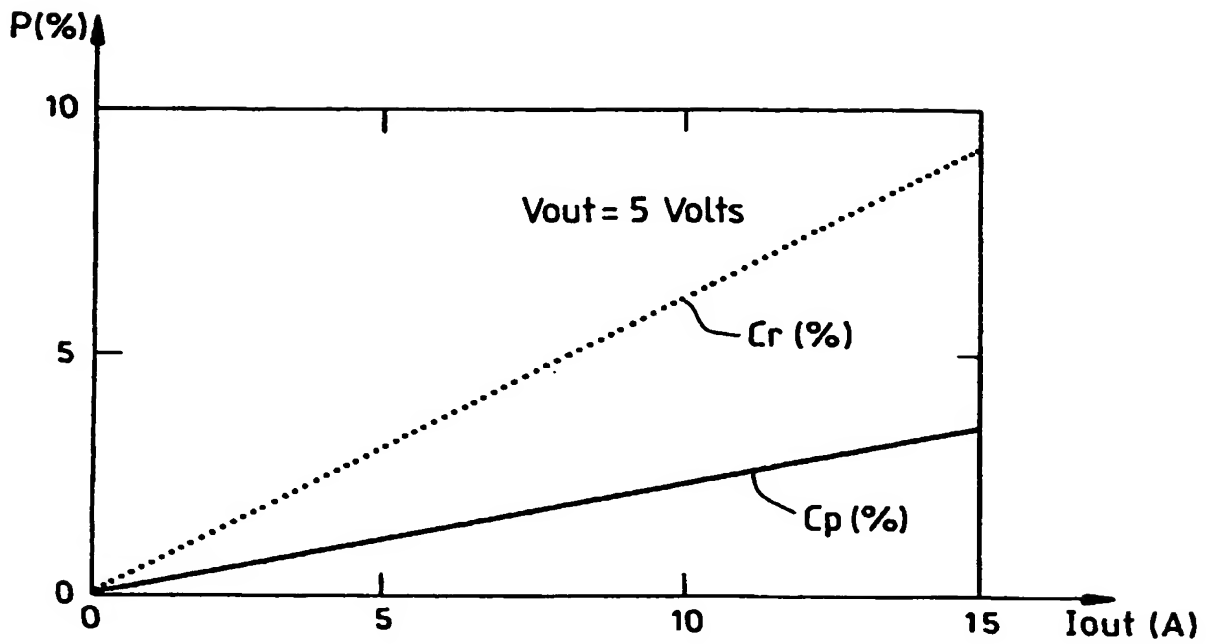


FIG.7

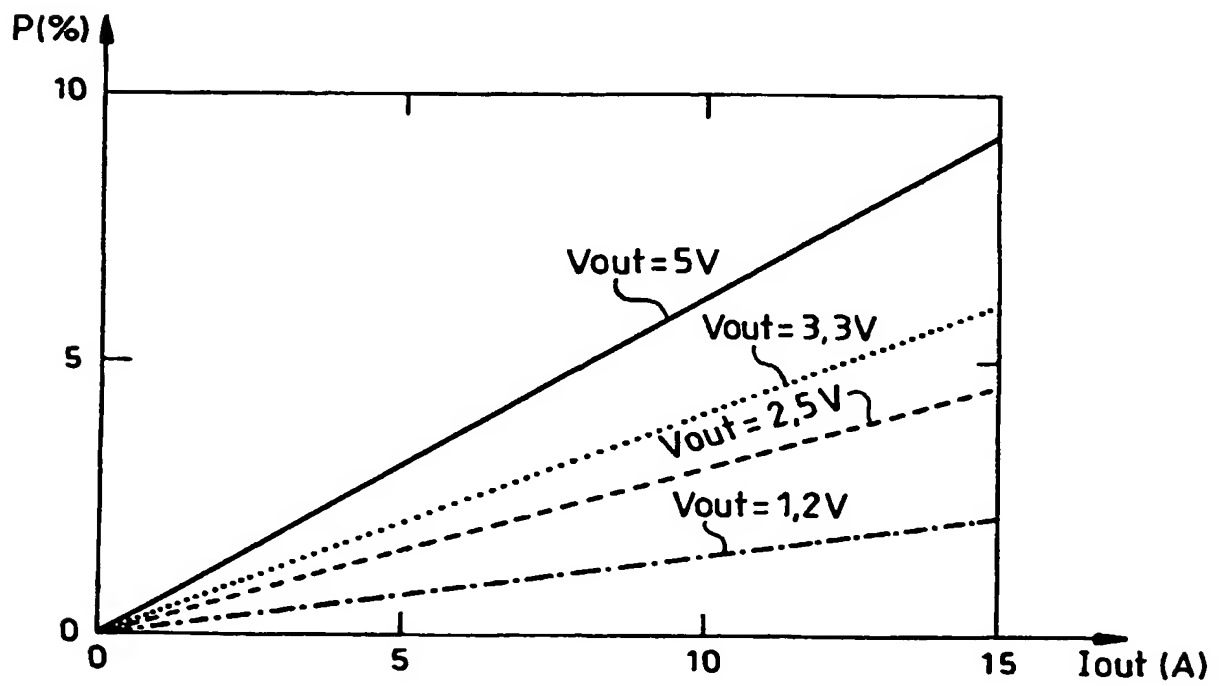


FIG.8

6/10

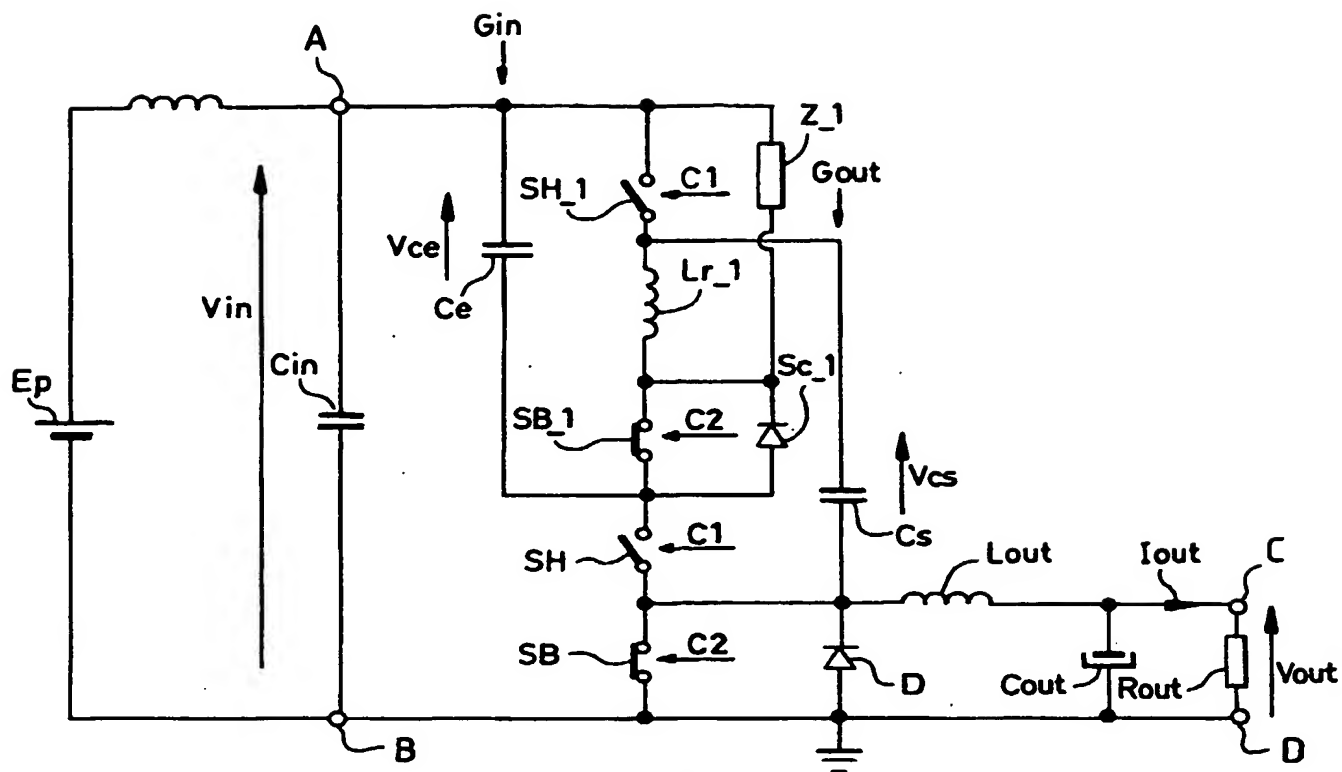


FIG. 9a

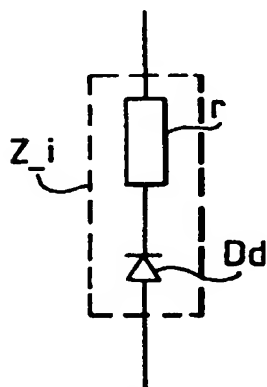


FIG. 9b

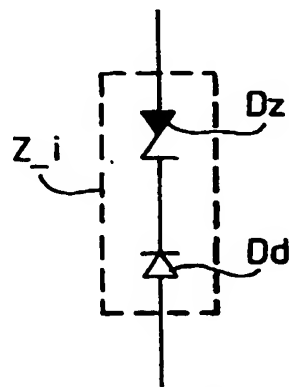


FIG. 9c

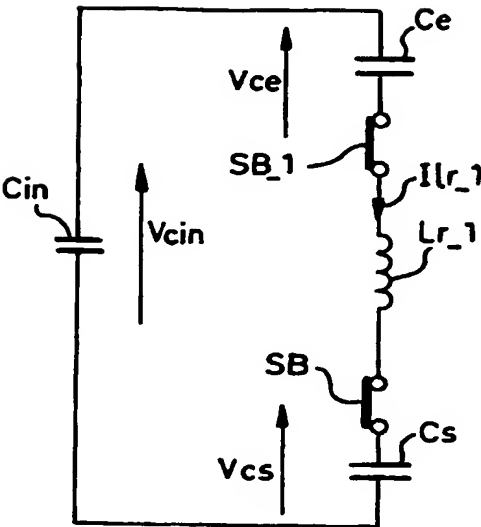


FIG.10

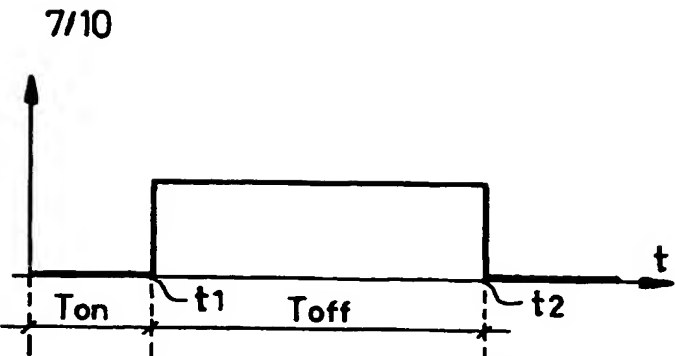


FIG.11

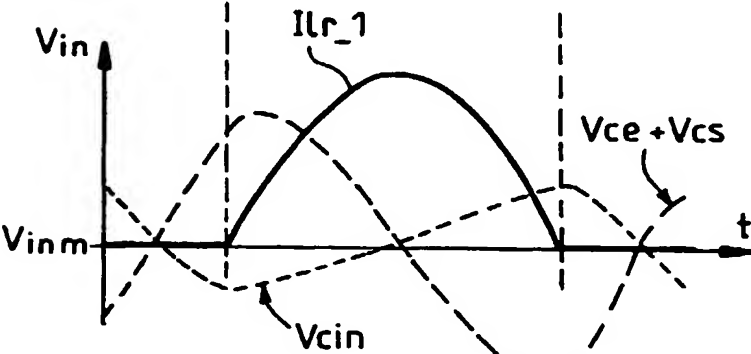


FIG.12

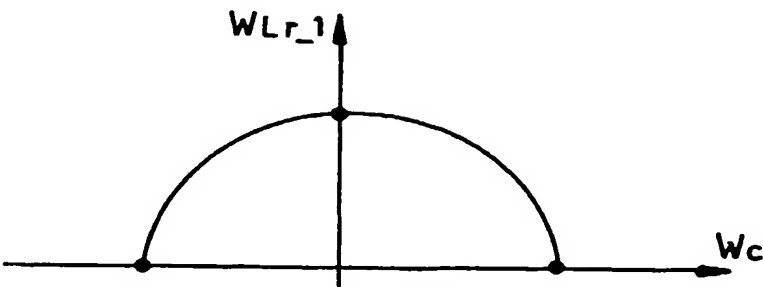


FIG.13

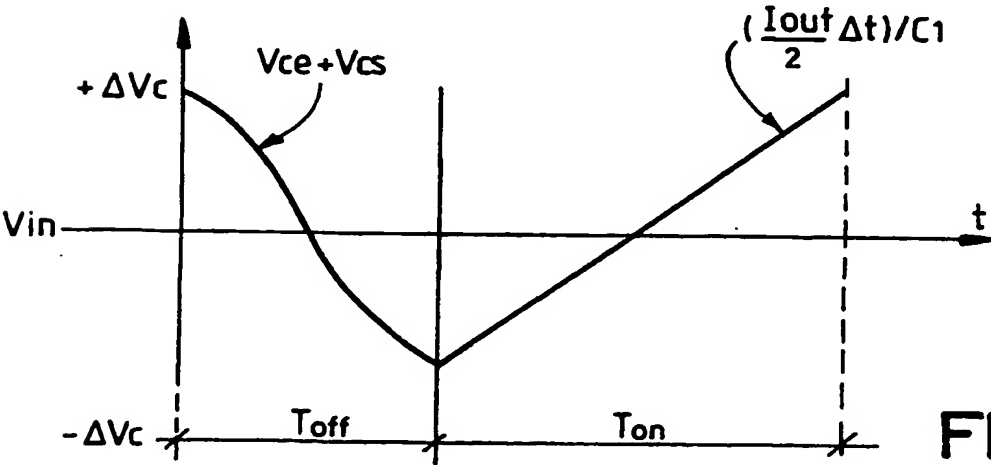


FIG.14

8/10

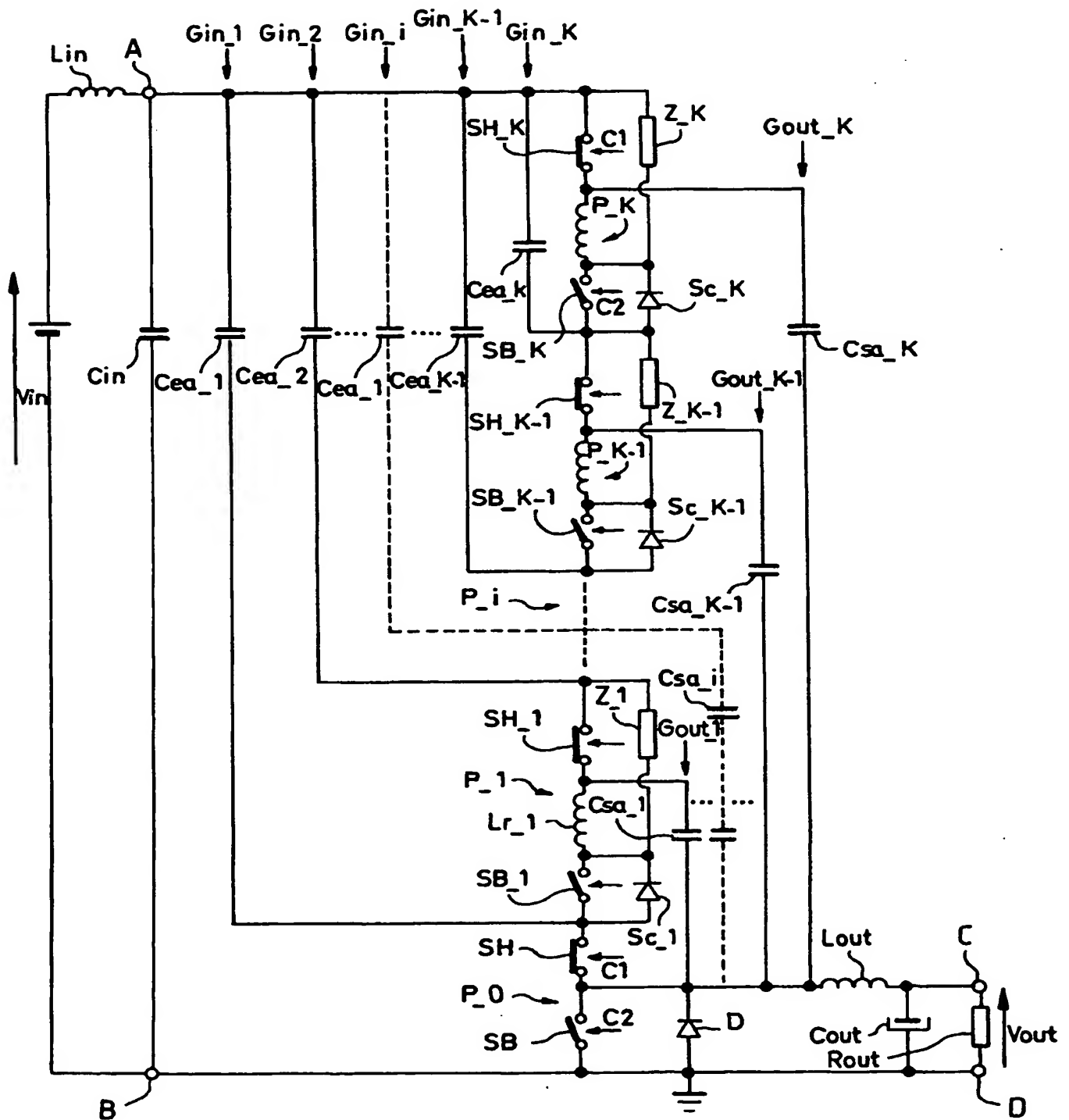


FIG.15

9/10

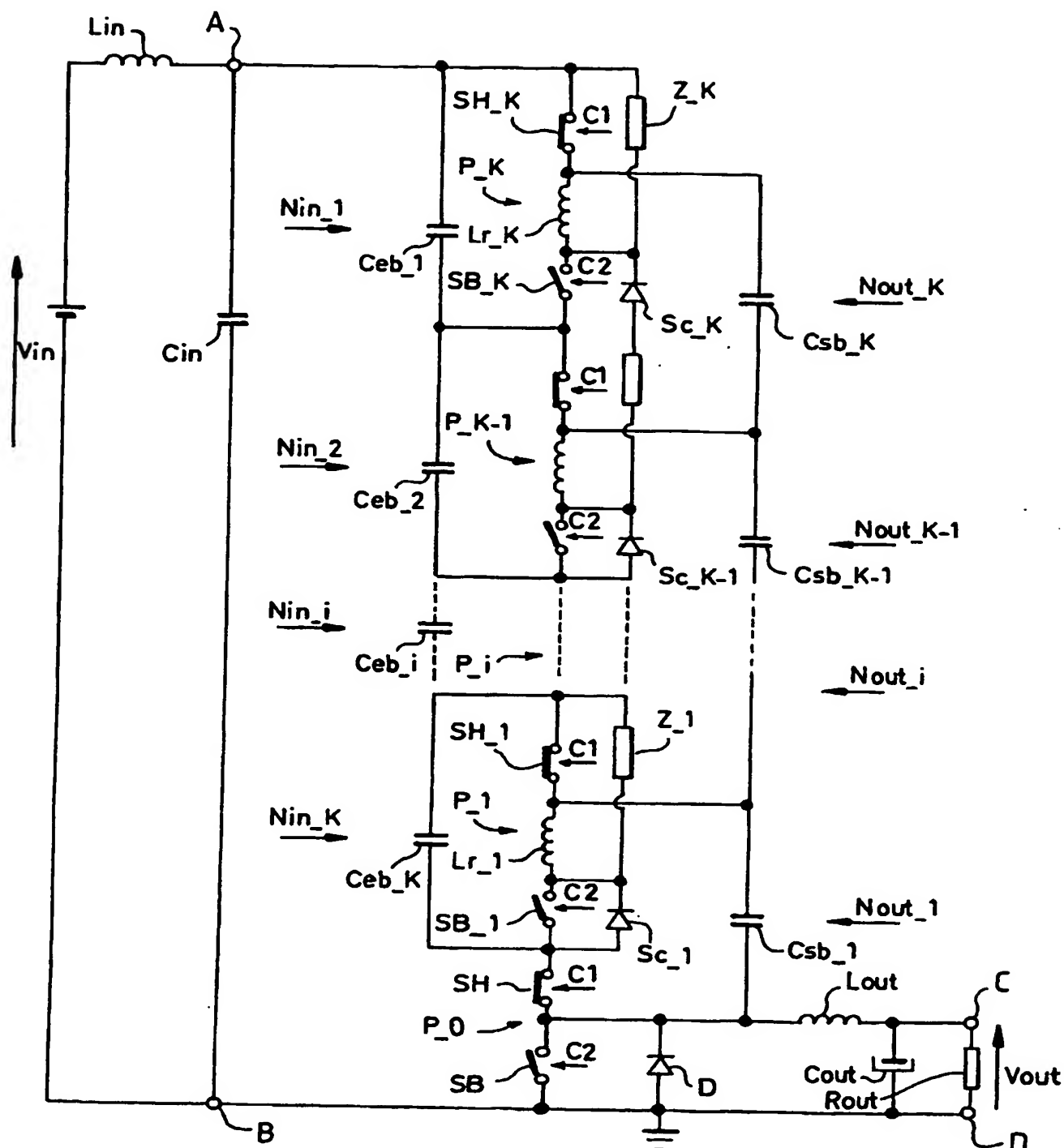


FIG. 16



10/10

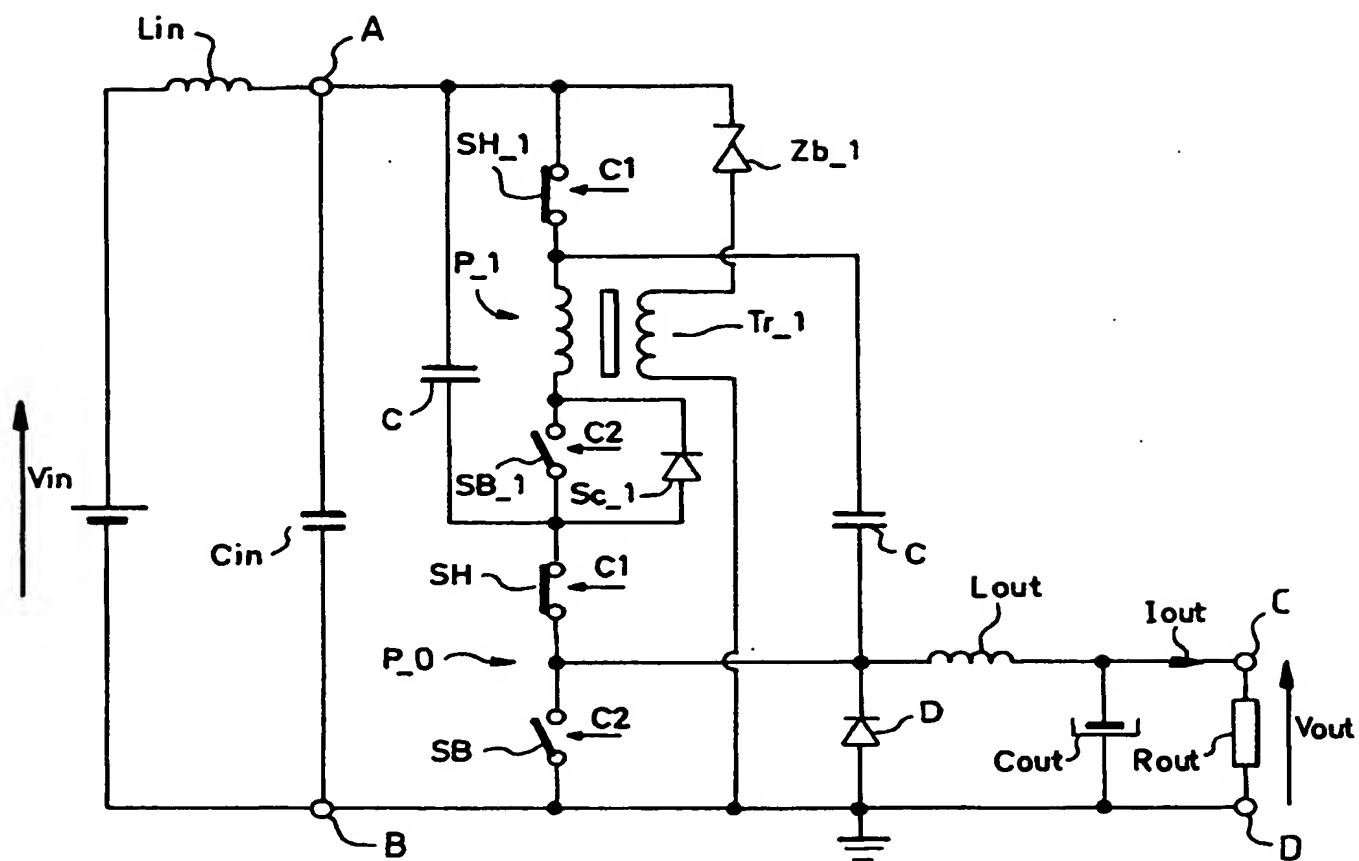


FIG.17

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 H02M3/158 H02M3/07

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 H02M

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)  
EPO-Internal, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 016, no. 018 (E-1155), 17 January 1992 (1992-01-17) & JP 03 235657 A (SUMITOMO METAL IND LTD), 21 October 1991 (1991-10-21) abstract	1
A	----- US 5 357 419 A (LIMPAECHER RUDOLF) 18 October 1994 (1994-10-18) abstract figures 3,5	1
A	----- US 6 304 065 B1 (WITTENBREDER ERNEST H) 16 October 2001 (2001-10-16) abstract figures 6,9,10,23-25,28-34,37-42 ----- -/--	1

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*G\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

22 June 2004

Date of mailing of the international search report

01/07/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Hurtado-Albir, J

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2002/121881 A1 (WITTENBREDER ERNEST H) 5 September 2002 (2002-09-05) abstract figures 3,6,7 -----	1

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR2004/000091

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
JP 03235657	A	21-10-1991	NONE	
US 5357419	A	18-10-1994	US 5270913 A	14-12-1993
			US 5561597 A	01-10-1996
			US 5764501 A	09-06-1998
			AU 676156 B2	06-03-1997
			AU 3945293 A	08-11-1993
			BG 99098 A	30-11-1995
			BR 9306199 A	23-06-1998
			CA 2132971 A1	14-10-1993
			CN 1079083 A	01-12-1993
			CZ 9402389 A3	13-09-1995
			EP 0635172 A1	25-01-1995
			EP 0881737 A2	02-12-1998
			HU 68539 A2	28-06-1995
			JP 7506715 T	20-07-1995
			PL 171511 B1	30-05-1997
			SG 47673 A1	17-04-1998
			WO 9320610 A1	14-10-1993
			ZA 9302316 A	18-01-1994
US 6304065	B1	16-10-2001	US 2002121881 A1	05-09-2002
US 2002121881	A1	05-09-2002	US 6304065 B1	16-10-2001
			US 6437999 B1	20-08-2002

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE  
CIB 7 H02M3/158 H02M3/07

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 7 H02M

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)

EPO-Internal, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 016, no. 018 (E-1155), 17 janvier 1992 (1992-01-17) & JP 03 235657 A (SUMITOMO METAL IND LTD), 21 octobre 1991 (1991-10-21) abrégé	1
A	----- US 5 357 419 A (LIMPAECHER RUDOLF) 18 octobre 1994 (1994-10-18) abrégé figures 3,5	1
A	----- US 6 304 065 B1 (WITTENBREDER ERNEST H) 16 octobre 2001 (2001-10-16) abrégé figures 6,9,10,23-25,28-34,37-42 ----- -/--	1

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

\* Catégories spéciales de documents cités:

- \*A\* document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- \*E\* document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- \*L\* document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- \*O\* document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- \*P\* document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

\*T\* document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

\*X\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

\*Y\* document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

\*G\* document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

22 juin 2004

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

01/07/2004

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale  
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Hurtado-Albir, J

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 2002/121881 A1 (WITTENBREDER ERNEST H) 5 septembre 2002 (2002-09-05) abrégé figures 3,6,7 -----	1

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
JP 03235657	A	21-10-1991	AUCUN	
US 5357419	A	18-10-1994	US 5270913 A	14-12-1993
			US 5561597 A	01-10-1996
			US 5764501 A	09-06-1998
			AU 676156 B2	06-03-1997
			AU 3945293 A	08-11-1993
			BG 99098 A	30-11-1995
			BR 9306199 A	23-06-1998
			CA 2132971 A1	14-10-1993
			CN 1079083 A	01-12-1993
			CZ 9402389 A3	13-09-1995
			EP 0635172 A1	25-01-1995
			EP 0881737 A2	02-12-1998
			HU 68539 A2	28-06-1995
			JP 7506715 T	20-07-1995
			PL 171511 B1	30-05-1997
			SG 47673 A1	17-04-1998
			WO 9320610 A1	14-10-1993
			ZA 9302316 A	18-01-1994
US 6304065	B1	16-10-2001	US 2002121881 A1	05-09-2002
US 2002121881	A1	05-09-2002	US 6304065 B1	16-10-2001
			US 6437999 B1	20-08-2002